



面向21世纪课程教材

配位催化 与金属有机化学

Coordination Catalysis and Organometallic Chemistry

何仁 编著



化学工业出版社
教材出版中心

面向 21 世纪课程教材

配位催化与金属有机化学

Coordination Catalysis and Organometallic Chemistry

何 仁 编著

化学工业出版社

教材出版中心

·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

配位催化与金属有机化学/何仁编著. —北京: 化学工业出版社, 2002.2

面向 21 世纪课程教材

ISBN 7-5025-3605-1

I. 配… II. 何… III. 金属有机化学-高等学校-教材
IV. 062

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 093720 号

面向 21 世纪课程教材

配位催化与金属有机化学

Coordination Catalysis and Organometallic Chemistry

何 仁 编著

责任编辑: 何曙霓

责任校对: 郑 捷

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787×960 毫米 1/16 印张 11¼ 字数 194 千字

2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3605-1/G·962

定 价: 18.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 简 介

本书为全国理科应用化学与化学工程教学指导委员会及“面向 21 世纪应用化学专业课程体系与教学内容改革”课题组推荐的高等学校“面向 21 世纪课程教材”之一。本书旨在用较小的篇幅。简明阐述金属有机化学在高选择性有机合成及配位催化方面的基本知识与理论，着重介绍其应用领域。以高新技术为基础讲述学科前沿：特别是手性（配位）催化方面的成功应用，使学生了解金属有机化学在 21 世纪为解决资源、能源、环境等问题将起到的重要作用。如茂金属化合物作为烯烃聚合催化剂，将会改变聚烯烃材料工业的面貌，不对称催化技术可形成高选择性、高原子经济性的化工过程，不仅节约资源，也解决了环保问题。现今人类热衷的绿色化学，有许多都应用了以金属有机化合物为基础的配位催化技术。作者将以成功的实例启发生理理论联系实际的能力。

本书可用作本科应用化学专业选修课教材，也可作为研究生和从事石油化工、精细化工、高分子材料工业的技术人员参考。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 金属有机化合物的命名法	3
1.3 金属有机化合物的分类	4
1.4 有效原子序数	4
1.5 金属有机化合物中的配位体	4
1.6 金属有机化合物的特性及实验室处理方法	5
参考文献	11

第一篇 主族金属有机化合物

第 2 章 第一主族金属有机化合物	12
2.1 锂有机化合物的制法	12
2.2 锂有机化合物的化学性质	13
2.3 其他碱金属有机化合物的制法与性质	16
2.4 碱金属有机化合物的物理性质及结构	17
参考文献	17
第 3 章 第二主族金属有机化合物	18
3.1 镁有机化合物的制法	18
3.2 镁有机化合物的化学性质	20
3.3 镁有机化合物的物理性质及结构	22
3.4 其他第二主族金属有机化合物	22
参考文献	22
第 4 章 第十三主族金属有机化合物	24
4.1 铝有机化合物的制法	24
4.2 铝有机化合物的化学性质	25
4.3 铝有机化合物的物理性质及结构	30
4.4 镓、铟、铊有机化合物	31
参考文献	32

第5章 第十四、十五主族金属有机化合物	33
5.1 第十四、十五主族金属有机化合物的制法	33
5.2 第十四、十五主族金属有机化合物的性质	34
参考文献	39

第二篇 过渡金属有机化合物

第6章 第十一、十二族金属有机化合物	40
6.1 第十一、十二族金属有机化合物的制法	40
6.2 第十一、十二族金属有机化合物的性质	42
参考文献	44
第7章 过渡金属有机化合物基础	45
7.1 过渡金属有机化合物的制法	45
7.2 过渡金属有机化合物的化学键	48
7.3 过渡金属有机化合物的化学性质	50
参考文献	60
第8章 过渡金属羰基化合物及羰基簇合物	61
8.1 过渡金属羰基化合物的制法	61
8.2 过渡金属羰基化合物中的化学键	62
8.3 过渡金属羰基化合物的化学性质	63
8.4 过渡金属羰基簇合物的制法	64
8.5 过渡金属羰基簇合物的化学性质	66
8.6 过渡金属羰基簇合物的结构与化学键	67
参考文献	67
第9章 过渡金属卡宾与卡拜配合物	68
9.1 过渡金属卡宾配合物的制法	68
9.2 过渡金属卡宾配合物的性质	70
9.3 过渡金属卡拜配合物的结构与性质	75
参考文献	76
第10章 茂金属化合物	78
10.1 茂金属化合物的制法	78
10.2 茂金属化合物中的化学键	80
10.3 金属有机高分子化合物	80
10.4 茂金属化合物的催化作用	83
参考文献	84

第三篇 配位催化与绿色化学

第 11 章 过渡金属有机化合物催化加氢及不对称氢化	85
11.1 氢分子的催化活化	86
11.2 过渡金属配合物催化加氢	86
11.3 手性催化剂	88
11.4 碳、碳双键的不对称催化加氢	90
11.5 手性茂金属催化碳、碳双键的加氢	94
11.6 碳、氧双键的不对称加氢	95
11.7 手性钌配合物催化碳、氮双键的不对称加氢	98
参考文献	98
第 12 章 氧分子的催化活化及选择性氧化	100
12.1 氧分子的催化活化	100
12.2 过渡金属超氧配合物催化氧化反应	101
12.3 过渡金属过氧配合物催化氧化反应	101
12.4 过渡金属配合物催化环氧化反应	102
12.5 瓦克过程	102
12.6 不对称氧化	104
参考文献	106
第 13 章 一氧化碳化学	107
13.1 一氧化碳化学	107
13.2 二氧化碳化学	116
13.3 甲烷化学	128
参考文献	130
第 14 章 烯烃的催化活化	132
14.1 烯烃的齐聚和高聚	132
14.2 烯烃的调聚合反应	139
14.3 交互置换反应	145
14.4 黑克反应	147
参考文献	148
第 15 章 酶催化概论	150
15.1 酶的组成	150
15.2 酶的分类	150
15.3 重要辅酶的结构与作用	153

15.4	金属酶	156
15.5	金属酶的催化作用	157
15.6	酶催化的特征	163
15.7	酶工程	165
15.8	酶催化工业	166
	参考文献	168

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

1.1.1 金属有机化合物

金属有机化合物 (organometallic compounds) 是一类至少含有一个金属-碳键的化合物。除金属-碳键之外, 金属还可以与氢、氧、氮或其他金属等成键^[1]。

按照这一定义, 不含金属-碳键的烷氧基、烷硫基金属化合物 (ROM、RSM), 碳酸盐不能称为金属有机化合物。有些化合物虽然含有金属-碳键, 如 CaC_2 、 NaCN 等属于典型的无机化合物, 通常也不在金属有机化学中讨论。

研究金属有机化合物的化学就是金属有机化学。

1.1.2 金属有机化学的发展史^[2]

社会需要是推动金属有机化学发展的动力; 众多学者的辛勤劳动才形成了金属有机化学。

第一个金属有机化合物是 1827 年, 由丹麦药剂师采斯 (W.C. Zeise) 在加热 PtCl_2/KCl 的乙醇溶液时得到的。现证明, 这个化合物具有 $\text{K}[(\text{C}_2\text{H}_4)\text{PtCl}_3]\cdot\text{H}_2\text{O}$ 结构, 铂与乙烯以 π -键键合。为了纪念他, 人们称这个化合物为采斯盐。

第一个系统研究金属有机化学的要首推英国化学家福朗克兰 (E. Frankland)。1849 年 7 月 12 日, 他用碘甲烷和锌反应得到了二甲基锌 $(\text{CH}_3)_2\text{Zn}$, 这是第一个含金属-碳 σ -键的金属有机化合物。由于他对有机锌化学进行了详细研究, 而总结出了以上的金属有机化合物定义和基的概念。

1890 年蒙特 (L. Mond) 发现 $\text{Ni}(\text{CO})_4$ 这是第一个金属羰基化合物。

1899 年法国化学家巴比尔 (P. Barbier) 和格林雅 (V. Grignard) 在研究锌有机化合物的基础上, 发现了镁有机化合物 RMgX 并将它用于有机合成。由于他及以后几十年各国化学家的努力, 形成了用镁有机化合物进行有机合成的巨大宝库。现在人们称这些镁有机化合物为格林雅试剂 (Grignard Reagent)。镁有机化合物与有机化合物的反应称为格林雅反应 (Grignard Reaction)。由于他的贡献, 1912 年他获得了诺贝尔化学奖。这是第一个获

诺贝尔奖的金属有机化学家。

1922年美国的米基里(T. Midgeley)发现了四乙基铅 $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ 及其优良的汽油抗震性。1923年四乙基铅在工业上大规模生产,用做汽油抗震剂,这是第一个工业化生产的金属有机化合物。但四乙基铅严重污染环境,现在已被淘汰。

1931年赫伯(W. Hieber)合成出羰基金属氢化物 $\text{HCo}(\text{CO})_4$, $\text{H}_2\text{Fe}(\text{CO})_4$ 。

1951年鲍森(P. L. Pauson)和米勒(S. A. Miller)分别发现了二茂铁 $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$ 。由于它特别的化学性质,引起化学家的深入研究,开拓出了茂金属化学,提出了夹心式分子结构及新的化学键理论。

1962年柯登(F. A. Cotton)发现含金属-金属重键的有机化合物。

1964年费雪(E. O. Fischer)发现金属卡宾配合物。

1965年威金森(G. Wilkinson)发现铑-膦配合物及优良的催化性能。

1971年黑克等发现黑克偶联反应。

1973年费雪(E. O. Fischer)发现金属卡拜配合物。

工业上第一次用金属有机化合物作为催化剂的配位催化过程是1938年罗伦(O. Rölen; Ruhrchemie)发现的羰基钴催化烯烃与一氧化碳生成醛的反应,称为氢甲酰化反应。此后,瑞伯(R. Reppe; BASF)又发现炔烃与一氧化碳反应生成不饱和羧酸。从此开创了著名的羰基合成化学及配位催化学科。此后,配位催化得到快速地发展。

1953年德国的齐格勒(K. Ziegler)使用第四族金属盐或配合物同烷基铝组成的催化剂实现了低压聚乙烯。1955年意大利的纳塔(G. Natta)用此类催化剂实现了丙烯的等规聚合,为现代合成材料工业奠定了基础。

1958年史密特等(J. Smidt, W. Hafner, R. Jira; Waker Chemie)实现了在钨催化下乙烯氧化合成乙酸,即著名的瓦克工艺。

1968年鲍里克等(F. E. Paulik, J. F. Roth; Monsanto)实现了甲醇羰化制乙酸。这是典型的绿色化学工业。

1971年诺威尔斯(W. S. Knowles, Monsanto)合成了治疗帕金森病特效药L-Dopa,开创了不对称催化的新纪元。

1977年凯姆(W. Keim)发现了镍配合物催化乙烯齐聚合成 α -烯烃(SHOP),开创了均相催化复相化的成功先例,解决了催化剂与产物分离的难题。1978年柯茨等(E. G. Kuntz, B. Cornils)在氢甲酰化反应中利用水溶性膦配位体制成的催化剂,也在工业上实现了均相催化复相化。

现在金属有机化学、配位催化已形成学科。有专门的刊物和专门的学术会议,成为化学与化工领域中最活跃的部分。

1.2 金属有机化合物的命名法

按照 1979 年国际纯化学和应用化学会议通过的决议, 金属有机化合物可按下列方法命名。

(1) 仅含有机基团、氢金属 σ -键的金属有机化合物 将化合物中基团的英文名称按字头字母的先后次序排列在金属之前, 如 n -Bu₃GeEt 称三-正丁基乙基锗; MeBeH 称为氢甲基铍。

(2) 缔合的金属有机化合物 如 (Me₃Al)₂ 仍叫三甲基铝, 当需要强调它的缔合性质时才称为双- μ -甲基-四甲基二铝。 μ 表示桥键, μ 后的甲基是成桥基团。

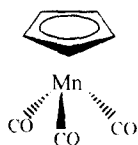
(3) 当金属有机化合物中有负离子时 (如 BuSnClBr₂) 有两种命名方式

① 有机基团仍按英文名称字头字母的顺序排列在金属前面。金属之后加一个“合”字, 然后是负离子。负离子的顺序按元素符号第一个字母的顺序, 即丁基锡合二溴一氯。

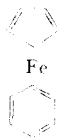
② 金属有机化合物中有机的、无机的配位体均按英文名称第一个字母的顺序排列, 在金属名称之前加一个合字, 即二溴丁基氯合锡。

(4) π -配合物的命名法

含 π -键配位的金属有机化合物命名时, 首先要指出 π -配位的配位体中有多少碳原子与金属原子成键, 用 η^n 表示。其中 n 是正整数, 表示配位体与金属成键的碳原子数目。例如, η^3 -C₃H₅ 表示烯丙基中的三个碳原子均参与同金属以 π -键键合。 η^1 -C₃H₅ 则表示烯丙基仅以一个碳原子与金属以 σ -键键合。按照上述规定, 下面的金属有机化合物:



η^5 -CpMn(CO)₃, 读成三羰基-eta-5-环戊二烯基合锰。



η^6 -C₆H₆Fe- η^4 -CpH, 读成 eta-6-苯-eta-4-环戊二烯合铁。

表 1.1 为金属有机化合物命名时常用基团的英文名及其缩写。

表 1.1 金属有机化合物命名时常用基团的英文名及其缩写

中文名	英文名	缩写
甲基	methyl	Me
乙基	ethyl	Et
丙基	propyl	Pr
丁基	butyl	Bu
乙酰丙酮基	acetylacetonate anion	acac
羰基	carbonyl	CO
环辛二烯	cycloocta-1,5-diene	COD
环辛四烯	cyclooctatetraene	COT
环戊二烯基	cyclopentadienyl	Cp
苯基	phenyl	Ph
吡啶	pyridine	Py
四氢呋喃	tetrahydrofuran	THF

1.3 金属有机化合物的分类

由于出发点不同,人们采用了不同的分类方法。在无机化学中已详细阐述了周期表中,同族元素的无机化合物性质相似。金属有机化合物也有类似的规律,故选择按新周期表分类法,将金属有机化合物分为十八族,三大类。

- (1) 主族金属有机化合物 这是金属有机化学的基础。
- (2) 过渡金属有机化合物 这是金属有机化学中研究最多、应用最广的。
- (3) 稀土金属有机化合物 这类化合物研究得还不多,本书也未讨论。

1.4 有效原子序数

过渡金属有机化合物的金属外层包括 s、p、d-电子,所以稳定的金属有机化合物外层电子应是 18 个。如不足 18 个电子它将通过缔合、配位,尽量达到最接近 18 个电子的水平。为方便计算过渡金属有机化合物中金属外层的电子数而提出有效原子序数^[3]概念 (EAN = effective atom number),它被定义为:过渡金属有机化合物金属原子外层电子数,包括金属的价电子数加上配位体提供电子数的总和。当这个数与该元素最近的一个第十八族元素外层电子数相等时叫做遵守 EAN 规则,该化合物稳定。

1.5 金属有机化合物中的配位体

金属有机化合物,通常由金属原子或离子及围绕它的其他原子、离子、小分子组成,这后者就叫配位体或配体。

在配位化学和金属有机化学中,把金属看成中心原子(离子),其他的原子、离子、小分子或基可以通过不同的化学键而配位,它们都是配位体。由于一个金属有机化合物中可存在不同的化学键,所以配合物和化合物的概念在这里很难严格区分。

以离子键键合的金属有机化合物中的配位体,同负离子一样,如 $n\text{-C}_4\text{H}_9\text{Li}$ 中的丁基带有一个负电荷。实际上,负电荷在与锂原子相连的那个碳原子上。

以共价键键合的配位体情况比较复杂,不同的配位体将提供不同的配位电子,相同配位体在不同的情况下,也可能提供不同的配位电子。现将一些典型的配位体提供电子的情况列入表 1.2 中。

表 1.2 配位体提供配位电子数

提供电子数	配位体
-2	BH_3, BF_3
1	$\text{X}, \text{R}, \text{R}_3\text{Sn}, \text{H}, \text{SCN}, \text{NO}_2$
2	$\text{R}_2\text{O}, \text{R}_2\text{S}, \text{R}_3\text{N}, \text{R}_3\text{P}, \text{R}_3\text{As}, \text{RC}_2=\text{CH}_2, \text{CO}$
3	$\text{C}_3\text{H}_5, \text{NO}, \text{RN}_2, \text{C}_6\text{H}_7$ (环己二烯基)
4	C_4H_4 (环丁二烯), C_4H_6 (丁二烯), $\text{H}_2\text{NCHCHNH}_2$
5	C_5H_5 (环戊二烯基), C_9H_7 (茚基)
6	$\text{C}_6\text{H}_6, \text{C}_7\text{H}_8$ (环庚三烯)
7	C_7H_7 (环庚三烯基)
8	C_8H_8 (环辛四烯)

以上这些配位体可分为五类:

(1) 缺电子配位体 如 BH_3, BF_3 , 它们在配位时, 不仅不能提供电子, 而且从中心金属(原子、离子)获得一对电子而成键, 它们使中心金属的电子云密度下降;

(2) 单电子配位体 如 $\text{X}, \text{H}, \text{R}$ 等, 它们同中心金属配位时提供一个电子, 形成共价键, 它们被称为 σ -给予体;

(3) 双电子配位体 如 $\text{NH}_3, \text{R}_3\text{P}, \text{CO}, \text{CH}_2=\text{CH}_2$ 等, 这些配位体使用自己的孤对电子或 π -电子与中心金属配位, 向中心金属提供一对电子使中心金属的电子云密度增加, 它们被称为 π -给予体;

(4) 多电子配位体 如 $\text{C}_6\text{H}_6, \text{CP}$ 等, 这类配位体以 π -键同过渡金属配位, 向中心金属提供电子, 它们也被称为 π -给予体;

(5) 螯合配位体 具有二或更多重配位能力并能同时和中心金属形成稳定化学键的那些配位体, 如 C_4H_6 (丁二烯)、 $\text{H}_2\text{NCHCHNH}_2$ 、 acac 、 cod 等。

1.6 金属有机化合物的特性及实验室处理方法^[4,5]

许多金属有机化合物对空气是敏感的, 必须首先解决安全处理这类物质

的方法,才能很好地研究它们。经过几代科学家的努力现已总结出一套处理空气中敏感物质的有效方法——许林克(Schlenk)技术。其基本思想是将金属有机化合物置入含水、氧量极低的惰性气体气氛中进行处理。

1.6.1 纯惰性气体的获得

在一些城市,已有超纯惰性气体出售但价格昂贵,有时还不能满足要求。经常使用超纯惰性气体的实验室还是应该自己建精制设备。已有成套的惰性气体精制设备及手套箱出售但价格也不便宜。国内外许多实验都是根据自己的需要建设惰性气体精制系统和处理空气中敏感物质的设备。

1.6.1.1 脱氧剂

原则上讲,只要能与氧迅速反应并使氧固定在上面的试剂都可用来脱氧。表 1.3 列出了常用的脱氧试剂。

表 1.3 常用脱氧剂

载在硅胶上的 MnO	在室温下脱氧
载在硅胶上的 Cr ²⁺	用 Cr ³⁺ 溶液浸渍硅胶,然后在 500℃ 下用 H ₂ 还原,室温下脱氧稍差
负载铜(BTS 催化剂)	脱氧中氧 70℃,脱 CO 中氧 30-40℃,脱氮中氧 180-200℃,再生 150℃
银分子筛	室温下脱氧,80℃ 以下再生

实际上它们是一些负载型的催化剂。以上负载型的 Cu、Ni、Ag、Mn 在使用前必须用氢气还原活化。还原时要特别注意氢气的空速,避免通氢过快,局部温度过高,烧毁脱氧剂表面。

负载铜或线状氧化铜还原成铜后能将惰性气体中的氧含量降至 10⁻⁹ 级,虽脱氧能力尚差但铜的价格便宜可以制造脱氧容量较大的脱氧剂。负载型

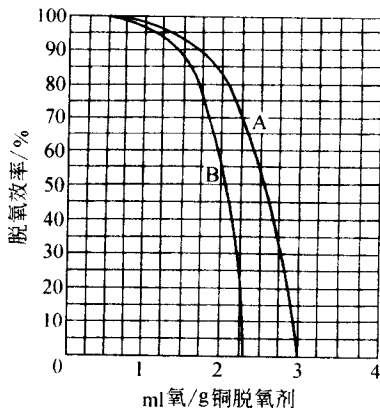


图 1.1 空速与脱氧效率的关系

A = 3000h⁻¹, B = 6000h⁻¹

MnO、银分子筛可使惰性气体中氧含量降至 10⁻¹² 级且能在常温下工作,但容量较小。如将这两类脱氧剂结合使用并用铜作前级就可达到处理量大,残留氧浓度低的效果。

脱氧剂可装在固定床反应塔中使用。惰性气体流过脱氧剂的空速对脱氧效果有明显影响。图 1.1 给出了空速与脱氧效率的关系。空速高,脱氧剂中含氧量大会使脱氧效率下降。

1.6.1.2 脱水

原则上,能与水反应而不放出有害物质或者能吸附水的化合物均可用作脱

水剂。表 1.4 是常用干燥剂。

表 1.4 常用干燥剂

干燥剂	平衡蒸汽压(25℃) Pa	特点
P ₂ O ₅	3×10^{-3}	酸性,表面易结膜
Mg(ClO ₄) ₂	7×10^{-3}	氧化性,容量大,可在 250℃ 再生
BaO	1×10^{-1}	碱性,容量小
γ-Al ₂ O ₃	1×10^{-1}	容量大,真空 400℃ 再生
SiO ₂	3×10^{-1}	容量大,120℃ 再生
KOH	3×10^{-1}	碱性,容量小
CaO	4×10^{-1}	碱性,容量有限,遇 CO ₂ 容量更小
分子筛 4,5A	1×10^{-1}	容量大,真空 400℃ 再生

干燥剂也可装在固定床反应塔中,使用时除注意控制惰性气体的空速外,还要注意平衡蒸汽压与脱水剂容量间的关系。图 1.2 是某些干燥剂的平衡蒸汽压与容量关系。

1.6.2 处理空气中敏感物质常用的玻璃仪器及操作技术

原则上,普通玻璃仪器增加高纯惰性气体进出口和带液封的出口就可以用于处理对空气敏感的物质。最方便的惰性气体导入口,可在 BZ19 磨口上接一个单向三通活塞,如图 1.3 (a), (b)。

这类活塞的特点是可防止活塞芯中的空气进入仪器中。

为了节约高纯惰性气体,对长时间进行反应的装置,可在出口接上一个

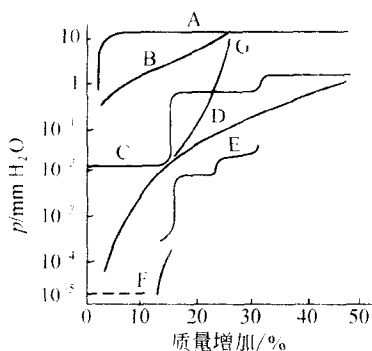


图 1.2 某些常用干燥剂的平衡蒸汽压-容量图

A--大孔硅胶;B--细孔硅胶;C--CaCl₂;
D--H₂SO₄;E--Mg(ClO₄)₂;F--P₂O₅;
G--4A 分子筛

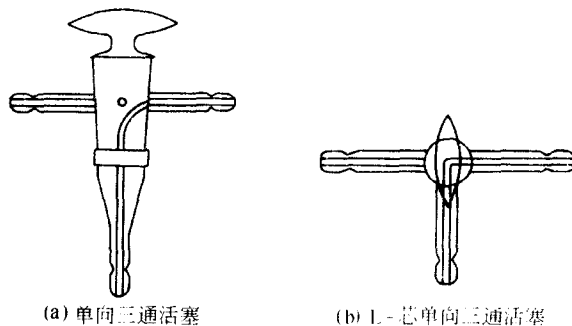


图 1.3

气球。它既可隔绝空气，使之不能进入仪器，又可调节仪器内部的压力以免发生爆炸。

为了除去仪器内的空气、吸附水，可先将它抽真空并同时烘烤，然后置换成高纯惰性气体，如此反复三次。图 1.4 是具有高纯惰性气体保护的反应仪器。

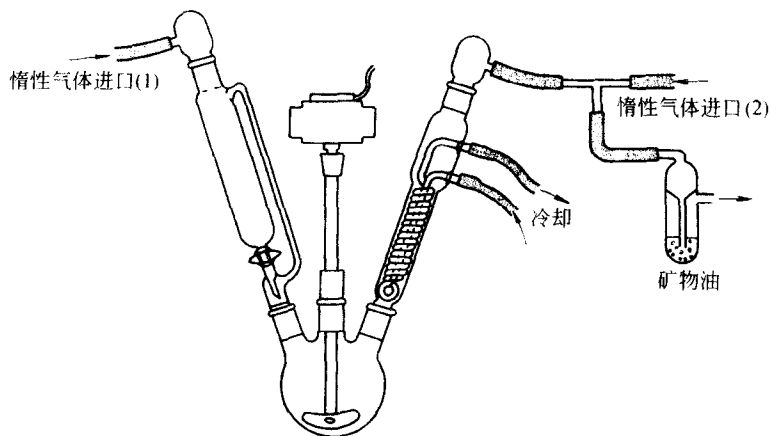


图 1.4 高纯惰性气体保护下的反应仪器

1.6.3 液体转移技术

对空气敏感的液体或溶液，不能用普通方法转移。实验室常用的方法有两种，见图 1.5。对于少量液体可以用医用注射器转移。使用之前应该用高纯惰性气体置换注射器中的空气。转移高度敏感的物质，针尖需插入一块硅橡胶中；注射器尾部涂上一点硅脂，可提高针管密封性能，这样可较长时间

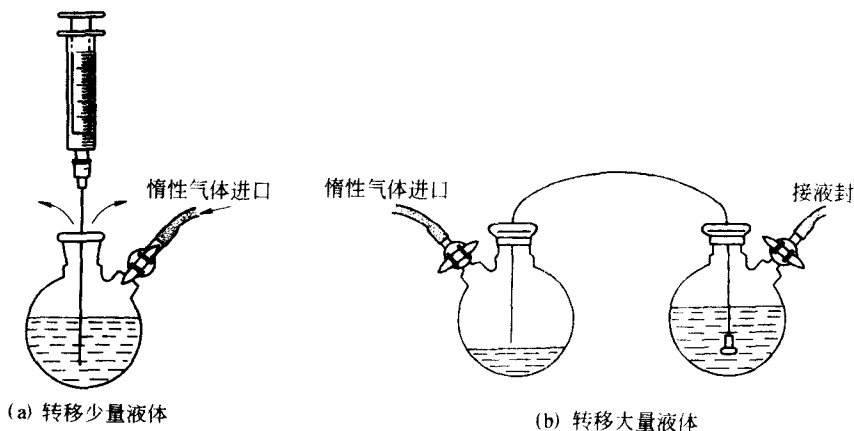


图 1.5 液体转移技术

进行如称量等操作。注射器上有刻度，可计量转移物质的量。但要精确计量时，需将移液管接在注射器上使用。

转移较大的液体，可用导管法或双针头法。将导管一头插入存有液体容器的液面下，另一端插入待装液体的容器中。用高纯惰性气体将液体压出。

1.6.4 固体的转移

手套箱是处理空气中敏感物质的典型设备。箱内用高纯惰性气体置换，人带上箱上的手套处理箱内的对空气敏感物质。图 1.6 的干袋是一种经济实用的处理空气中敏感物质的办法，它是一个底部有一惰性气体进出口的大聚乙烯口袋。待处理的固体物先置于袋中，经充高纯惰性气体、排空反复几次后，袋中已是高纯惰性气体气氛了，人可在袋子外面进行操作。

使用大字管也可以方便地进行固体物质转移操作，见图 1.7。



图 1.6 干袋

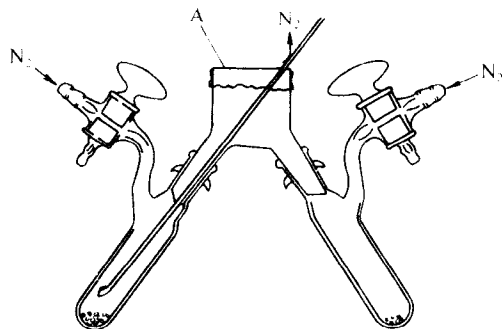


图 1.7 大字管

1.6.5 过滤

对空气敏感物质一般用高纯惰性气体进行压滤，而不用吸滤。各种形式的砂芯漏斗是主要过滤工具。图 1.8 (a)、(b) 是两种常用漏斗。过滤前漏斗需干燥并用高纯惰性气体冲洗。宁可选用较粗的砂芯漏斗过滤，如果过滤器堵塞会出危险。沉淀物太细，也可采用离心分离法。

1.6.6 许林克型玻璃仪器及空气敏感物质的贮存

许林克型玻璃仪器是带有一个支管的玻璃仪器。长期贮存或贮存对空气特别敏感的物质，可用图 1.9 (a) 型许林克管，管口熔封。短期贮存或贮存对空气不特别敏感的物质，可用图 1.9 (b) 型许林克瓶。

1.6.7 金属有机化合物的分析鉴定方法

只要将有机化合物的分析鉴定方法与处理空气中敏感物质的技术相结合，就可进行金属有机化合物的分析鉴定。下面举几个例子。